

## RESUMEN EJECUTIVO

### Introducción

- 1) La cuenca del Río Orinoco tiene una extensión de 1,015,000 km<sup>2</sup>, es rica en recursos minerales tales como el mineral de hierro, bauxita, etc., y es la tercera área de captación más grande en América del Sur. El desarrollo de la cuenca es una de las prioridades más altas del Gobierno de Venezuela para evitar que la estructura económica actual dependa tan fuertemente de la exportación petrolera. En el plan de desarrollo se propone el fortalecimiento y el mantenimiento del sistema de la navegación en el Río Orinoco como arteria del transporte en la cuenca del Orinoco, siendo esto una tarea de alta prioridad para afianzar un canal de navegación eficaz y confiable. Bajo estas circunstancias, el Gobierno de Venezuela le ha solicitado al Gobierno de Japón llevar a cabo el estudio para el mejoramiento comprensivo del río en el delta, aguas abajo de la Ciudad Guayana, y la formulación de un Plan Maestro, además de llevar a cabo el estudio de factibilidad para el proyecto prioritario seleccionado en el Plan Maestro realizado en estrecha cooperación extendida por la agencia principal, el Programa Orinoco-Apure (PROA) del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN), así como de las otras agencias involucradas, el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC), el Laboratorio Nacional Hidráulico (LNH) y las empresas de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG).
- 2) Los tramos navegables de la cuenca del Orinoco en Venezuela consisten en tres canales: Orinoco, Apure y Portuguesa con una longitud total de 2,100 km. Aguas abajo de Ciudad Guayana, el Caño Río Grande con una longitud de 339 km es el tramo más importante en el Eje de Navegación Orinoco-Apure. El Caño Río Grande requiere de un mantenimiento para la navegación de buques del tipo Panamax de 65,000 DWT, para una profundidad de agua mínima de 44 pies en la estación lluviosa y 34 pies en la estación de estiaje. Sin embargo, debido a la gran descarga de sedimentos de la cuenca del Río Orinoco, el canal de navegación en el delta requiere un dragado continuo de más de 18.5 millones de m<sup>3</sup> anualmente. Esta enorme cantidad de dragado de mantenimiento ocasiona la reducción en la competitividad de precios de los materiales de exportación en el mercado internacional debido a los altos costos de navegación. Asimismo, ha sido difícil asegurar un calado suficiente para los buques de navegación debido a la poca eficacia en el dragado por el retorno de los materiales dragados al canal y la reducción del tiempo de dragado por los problemas técnicos recurrentes en las dragas. Consecuentemente en la actualidad, los buques se ven obligados a ajustar su capacidad de carga adecuadamente.

- 3) Es necesaria la formulación de un sistema de transporte fluvial eficaz y confiable en los principales caños Río Grande, Macareo y Manamo, para enfrentar la demanda en el transporte de carga futura. Para esto, deberá concebirse el plan de mejoramiento integrado del río en el Delta del Orinoco. El plan de mejoramiento deberá ser técnicamente factible y económicamente viable con un mínimo de impactos medioambientales.

#### **Pronóstico del Transporte de Carga**

- 4) Casi todo el flujo de tráfico de carga en la región se concentra exclusivamente en el Caño Río Grande del Río Orinoco, con excepción de una pequeña porción generada por diferentes actividades industriales ubicadas en Ciudad Guayana que se transporta por caminos hacia y desde los puertos de la costa norte. La escala del flujo reciente de la carga total anual se ha reportado en alrededor de 20 millones de toneladas por año, de acuerdo a las estadísticas de 1997. La carga de mayor volumen que atraviesa por el Caño Río Grande es de 9 millones de toneladas de mineral de hierro exportada anualmente por Ferrominera. La mayoría de la carga manejada en Puerto Ordaz es la carga industrial de 10 empresas relacionadas con el mineral de hierro, hierro de reducción directa, productos de acero, bauxita, alúmina, aluminio, clinker y petróleo. El porcentaje del volumen de carga de estas empresas representan más del 95% del volumen total.
- 5) Debido a la política de Venezuela de promover la exportación de las industrias siderúrgicas y a la introducción de las industrias de valor agregado, los productos de acero y el hierro de reducción directa han estado aumentando y el volumen de carga total se ha pronosticado a alcanzar 208 millones de toneladas para el año 2020, en el caso de un crecimiento alto. Contrariamente, el volumen del mineral de hierro exportado en la región ha estado disminuyendo en las últimas dos décadas y se ha pronosticado que reducirá aún más. En efecto, de acuerdo al plan de Ferrominera, el volumen pronosticado de la exportación del mineral de hierro decrecerá gradualmente a 4 millones de toneladas hasta el año 2003, pero permanecerá en ese nivel de ahí en adelante.

#### **Sistema del Transporte Fluvial**

- 6) Haciendo énfasis en el transporte del mineral de hierro, puesto que es el factor más crítico al decidir la capacidad del canal de navegación y para enfrentar las demandas de las embarcaciones de carga, el sistema de transporte fluvial futuro se ha proyectado tomando en consideración la ruta de navegación, exportación del mineral de hierro con o sin un puerto de transferencia, así como su ubicación y tipo de buques, como se muestra a continuación.

### Futuro Sistema de Transporte Fluvial en el Delta del Orinoco (Año Meta 2020)

Carga de Transporte	Período	Sistema de Transporte	Comentarios
Mineral de Hierro	Período ①: Presente-2003	La ruta de navegación deberá ser a lo largo del Río Grande. Mientras que la actual Estación de Transferencia y los dos buques de acarreo aún se encuentren en operación, se deberá mantener el sistema de transporte existente con la Estación de Transferencia.	Los mismos que en el Sistema de Transporte actual.
	Período ②: 2003 al 2007	La ruta de navegación deberá ser a lo largo del Río Grande. Con el retiro de la Estación de Transferencia, los dos Buques de Acarreo seguirán en operación.	La decisión deberá tomarse con respecto a mantener el sistema de transferencia existente o no, basándose tanto en los destinos finales como en los volúmenes importados.
	Período ③: 2007 al 2013	La ruta de navegación deberá ser a lo largo del Río Grande. Con el retiro de uno de los buques de acarreo, el buque restante seguirá en operación.	Habrán opciones de exportación a destinos como Europa, una de ellas es que los buques tamaño Panamax, cargando en Puerto Ordaz dentro de la profundidad permitida en el canal, realicen el viaje directo al destino final. Otra opción es que el buque del tamaño Panamax, parcialmente cargado en Puerto Ordaz, adicionalmente se cargue por medio de Buques de Acarreo en Boca Serpiente en toda su capacidad.
	Período ④: Después de 2013	La ruta de navegación deberá ser a lo largo del Río Grande. Después del año 2013, después del retiro tanto la Estación de Transferencia como los dos Buques de Acarreo existentes	Sería deseable que un buque de tamaño Panamax, completamente cargado en Puerto Ordaz, haga el viaje directo a su destino final. Deberá notarse que el uso de buques del tamaño Panamax tiene sentido competitivo en el mercado de carga mundial si se escogen los destinos finales apropiados.
Otro Tipo de Carga (además del Mineral de Hierro)	Presente-2020	La carga diferente al mineral de hierro está pronosticada a aumentar a 22 millones de toneladas por año en 2020. Hoy en día la mayoría de los buques es del tipo Small Handy y se mantendrá sin cambio hasta el 2020, de acuerdo a la investigación realizada en el tipo de carga. En caso de que el tamaño de buques fuese mayor al Small Handy, no sería mayor que el tipo Handymax, puesto que la mayoría de los buques de tipo Panamax no están equipados con sistemas de autocarga/descarga.	

- 7) Durante el transcurso de la descentralización y privatización del Gobierno de Venezuela, las empresas de CVG fueron privatizadas, permitiéndoles tener sus propias instalaciones portuarias. Por lo que en Puerto Ordaz no existe ninguna entidad única para la dirección integral del puerto, como una autoridad portuaria. Por consiguiente, es necesario que se establezca una autoridad portuaria para cubrir la extensa gama de actividades del puerto en relación con su desarrollo, mantenimiento, administración y dirección de instalaciones portuarias, así como al mejoramiento del uso del puerto para lograr un crecimiento económico sustentable en la región y

consecuentemente realizando la estrategia de desarrollo del país.

- 8) De acuerdo al informe de MTC de 1991, la capacidad de tráfico en el Caño Río Grande fue estimada en aproximadamente 1,100 embarcaciones por año. Sin embargo, aún en la actualidad con un tráfico de 900 embarcaciones por año, se lleva a cabo un congestionamiento en el caño causándole a las embarcaciones una espera de seis (6) horas. Además, el tráfico tiende a incrementar en el caño, estimando el tráfico total anual en cada dirección en más de 1,100 buques para el año 2010, y alrededor de 1,300 embarcaciones para el año 2020 en el caso de un alto crecimiento en el pronóstico de la demanda. Por consiguiente, la escasez en la capacidad del caño para el volumen de tráfico será más seria en el futuro cercano. Asimismo, en el Caño Río Grande ocurren algunos accidentes de tráfico debido a la existencia del flujo de crecidas y los tramos tan estrechos que sólo son suficientes para el tráfico de un sentido. Bajo estas circunstancias, para poder aumentar la capacidad de tráfico y poder obtener un tráfico seguro en el canal, se recomienda la introducción del VTMS y conducir un estudio para el desarrollo del sistema de convoy. En especial se recomienda la inversión en el VTMS debido a que a largo plazo, estos esfuerzos y costos serán compensados por la posible reducción de los costos en el seguro marítimo.
  
- 9) Para obtener una visión clara de la navegación de gabarras a lo largo del Caño Macareo, se llevó a cabo un estudio utilizando el sistema de transporte de trenes de gabarras para el mineral de hierro desde Puerto Ordaz al mar, en lugar de los buques de acarreo (tamaño Panamax) a través del Caño Río Grande, basándose en la demanda de exportación futura del mineral de hierro según el pronóstico del Volumen de Carga reducido de 4 millones de toneladas en el año 2003. En cuanto al transporte del mineral de hierro en trenes de gabarra por el Caño Macareo, existen dos posibles alternativas para transferir el mineral de hierro de la gabarra al buque oceánico, ya sea por medio de la estación de transferencia existente o por medio de un nuevo puerto a ser construido en el estuario del canal. Se ha juzgado que el esquema del tren de gabarra no tiene factibilidad económica ni financiera y su implementación no está justificada bajo las condiciones actuales. La evaluación de la posible ejecución del esquema con el tren de gabarra se estudiará en el futuro, cuando el tiempo lo juzgue apropiado desde el punto de vista no sólo del transporte del mineral de hierro sino también del progreso y madurez del desarrollo del Eje Orinoco-Apure.

### **Mejoramiento de Canal**

- 10) El mejoramiento del canal en este estudio está enfocado a la ruta del Río Grande (longitud total de 339 kms), la cual fue seleccionada como la ruta de navegación más conveniente, comparada con las rutas Manamo y Macareo, tomando en consideración la demanda de carga presente y futura,

sistemas de navegación eficientes, además de las características predominantes del canal y los costos para la navegación generados por el mejoramiento y mantenimiento. Para que un mejoramiento del canal sea suficiente para minimizar las actividades de dragado y para garantizar una navegación segura, se debe emplear una combinación de ①medidas estructurales y ② medidas no-estructurales, conjuntamente con ③ una metodología de dragado eficiente.

### Concepto de Mejoramiento del Canal

Caño Subjetivo	Caño Río Grande (L = 339 km)		
Problemas Actuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultades por la gran cantidad de trabajos de dragado requeridos</li> <li>- Dificultades en alcanzar la profundidad requerida para la navegación</li> </ul>		
Concepto del Mejoramiento del Canal	①Estructural	②No-Estructural	③Mejoramiento de la Metodología de Dragado
	Mejoramiento del Canal de Navegación		Operación y Mantenimiento
	Reducción del volumen de dragado mediante estructuras en el río	Reducción del volumen de dragado sin estructuras en el río	Provisión de la profundidad requerida
	- Estructuras del río para restringir el flujo en un canal más angosto y aumentar la descarga en el canal de navegación.	- Uso de una ruta de navegación más profunda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento del tiempo de dragado;</li> <li>- Obtención de un lecho plano por medio de la nivelación del fondo;</li> <li>- Prevenir el retorno de los materiales dragados del canal</li> </ul>

11) [① **Medidas Estructurales**]: La característica específica del Caño Río Grande es la variación longitudinal de la elevación del lecho del canal, la cual es primordial antes de tomar cualquier medida para el mejoramiento, debido a la fuerza cortante del lecho como consecuencia del ancho del canal y/o a las variaciones de descarga. Basándose en estas características del flujo del canal, se determinan las medidas para el mejoramiento para adquirir una mayor profundidad de agua, ya sea restringiendo el flujo en un cauce más estrecho o aumentando la descarga del flujo en el canal de navegación. Los dos tipos de medidas que se plantean son las a) “medidas estructurales puntuales”, las cuales tienen como objetivo ciertos lugares específicos y las b) “medidas estructurales longitudinales” a lo largo del canal. Debido a que el Río Orinoco es un río enorme en términos de tamaño y descarga, las medidas para el mejoramiento a gran escala a lo largo de la dirección longitudinal del canal no sería ni económicamente factible ni práctico debido a los largos tramos de dragado. Por lo tanto, las medidas para el mejoramiento apropiado deberán enfocarse como medidas puntuales con lugares específicos como objetivo.

### Aplicabilidad de las Medidas Estructurales

Medidas		Aplicabilidad
a) Medidas puntual	Dique de Cierre para los canales secundarios	La estructura puntual es bastante efectiva para controlar la descarga o aumentar la intensidad del caudal a lo largo del cauce principal, el cual es técnicamente aplicable al Caño Río Grande.
b) Medidas longitudinal es	Espigones	No es ni económicamente factible ni práctico para el Caño Río Grande, el cual tiene largas secciones de dragado y una pendiente suave.
	Diques Guía	No es ni económicamente factible ni práctico para el Caño Río Grande, el cual tiene largas secciones de dragado.

12) **[Alternativas para las Medidas Estructurales]:** La sección de dragado Aramaya, Guarguapo - Barrancas - Ya Ya se confirma solamente como una sección en la que pudiese aplicarse el mejoramiento del canal por medio de posibles medidas puntuales para disminuir la elevación del lecho del canal de navegación, con el cierre del Caño Tórtola, en el cual actualmente fluye 40% de la descarga principal, con un dique de 2.2 km de longitud. Consecuentemente, la descarga del canal de navegación podría aumentar y el dragado de mantenimiento anual de 3.80 millones sería eliminado. En este estudio, el esquema de un dique sumergido, adicional al dique de cierre completo, también se ha considerado para la mitigación del impacto ambiental. Los costos de construcción tanto para el dique de cierre completo, como para el dique sumergido son US\$ 101 millones y US\$ 129 millones, respectivamente.

### Posibles Medidas Técnicas

Caño	La Sección	Longitud del Dragado km (Volumen Anual de Dragado millones m <sup>3</sup> )	Aplicabilidad de la medidas puntual (Resultados del P/M)	Medidas Estudiada en el Estudio de Factibilidad
Caño Río Grande	(1) San Félix	8 (1.61)	×	-
	(2) Aramaya	4 (1.04)	×	-
	(3) Guarguapo-Barrancas-Ya-Ya	19 (3.82)	○	Medida para aumentar la descarga en el canal de navegación con el cierre del Caño Tórtola
	(4) Araguaito	1 (0.10)	×	-
	(5) Sacupana-Guasina	16 (1.51)	×	-
	(6) Curiapo	2 (0.40)	×	-
	(7) Boca Grande	78 (10.00)	×	-
Total		128 (18.48)		

13) **[Impacto Ambiental debido a las Medidas Estructurales]:** En consecuencia al cierre del Caño Tórtola con la implementación de las medidas estructurales, aún con un dique sumergido como

medida de mitigación contra efectos adversos en el medio ambiente, el estancamiento y relleno del cuerpo de agua en el tramo completo del Caño Tórtola no se podrá evitar a largo plazo. Por lo tanto, el cierre del canal causaría impactos significativos a la gente, especialmente a los que dependen de la pesca, requiriendo el consecuente reasentamiento de la población ribereña.

- 14) [② **Medidas No-Estructurales**]: Para reducir el volumen del dragado de mantenimiento, las medidas no-estructurales las cuales son medidas menos costosas, pueden ser aplicadas para el mejoramiento del canal al especificar la mejor ruta para la navegación por medio del área más profunda en el canal. El área más profunda en el cauce está sujeta a cambios del flujo del río de acuerdo a las estaciones del año. Por lo tanto, si se llevan a cabo estudios batimétricos en el canal de navegación para el pre y post-dragado, así como estudios batimétricos regularmente, se podría definir el área más profunda del canal y la ruta de navegación puede realinearse para reducir el volumen de dragado, después de una evaluación cuidadosa.

Con referencia al ③ Mejoramiento del Dragado en la Tabla anterior, se describe a continuación:

#### **Mejoramiento del Dragado**

- 15) Actualmente, el Canal mantiene una flotilla de tres (3) dragas incluyendo dos pertenecientes al INC, Río Orinoco y Guayana, además de la Hang Jun 2001 contratada con China Harbor. Todas son de tipo succión de arrastre, con descarga lateral con excepción de Guayana la cual descarga por el fondo.
- 16) Las siguientes medidas para el mejoramiento del dragado se recomiendan desde el punto de vista técnico.
- a) [**Introducción del Sistema del Registro de Trayectoria**]: Generalmente, el corte del Canal dragado por una draga de succión descarga brazo muestra que el fondo del cauce dragado es sumamente irregular conteniendo muchas crestas y valles. Para obtener la máxima profundidad minimizando el dragado, es necesario ubicar la posición y la profundidad exacta del área previamente dragada o de los puntos que quedaron altos, con la introducción de un aparato de registro y almacenamiento. Actualmente, el canal tiene estaciones transmisoras proporcionadas por INC, en las cuales se reciben datos a través del GPS satelital para identificar la ubicación de la draga. Para el mejoramiento de las dragas Río Orinoco y Guayana se recomienda que se les proporcione un sistema integrado equipado con registrador del visualizador de trayectoria (*tract display recorder*), un sistema para el posicionamiento de la cabeza de dragado para poder identificar las profundidades con exactitud y las ubicaciones precisas de los puntos bajos durante la operación del

dragado. El costo para el mejoramiento de las dos dragas operadas por INC se estima en US\$ 191,000.

- b) **[Introducción del Sistema de Gabarras]:** Debido a la corta distancia del tubo de descarga, el método de eliminación lateral permite únicamente desechar el material dragado ya sea junto al área dragada o dentro del mismo canal, por lo que el regreso del material desechado en el canal, especialmente en Boca Grande, es bastante alto. Para eliminar el posible retorno del material eliminado con el método actual de brazo lateral, se recomienda el uso de una gabarra para que transporte el material dragado fuera del canal. Para la draga Río Orinoco se requerirán dos transportadores, cada uno con gabarras de una capacidad de 3,500 metros cúbicos y un barco empujador de 4,000 PS. El costo se estima en US\$ 21,900,000.
- c) **[Aumento de las Horas de Dragado]:** De acuerdo al registro de las operaciones anuales de dragado de las tres (3) dragas en los años recientes, el total de horas de dragado anual de las Dragas Río Orinoco y Guayana es menos de 3,000 horas, lo cual es menos del 50% de las 6,000 horas de dragado realizadas por la draga Icoa con anterioridad. Por lo tanto, el volumen del dragado resultante no satisface el volumen diseñado y ha sido difícil el asegurar la profundidad de navegación requerida. La razón por la que el tiempo de funcionamiento sea tan limitado se debe a varios factores, y para resolverlo se requiere realizar un estudio comprensivo de dragado de gran escala, incluyendo los métodos de ejecución del dragado, el sistema y las instituciones administrativas.
- 17) **[Estudio del "Fluff"]:** Hasta la fecha, no se ha llevado a cabo un estudio detallado sobre las propiedades de sedimentación del "fluff" en Boca Grande. El estudio ecosonoro no es una herramienta para evaluar las propiedades físicas del "fluff" ni para determinar el método más efectivo o el programa de operación del dragado. Por lo que es necesario que un número suficiente de muestras del "fluff" del canal sean analizadas en un laboratorio para determinar sus propiedades físicas como el contenido natural de agua, el peso unitario, distribución granulométrica, cohesión, etc. Particularmente, se deberá determinar el peso unitario en las diferentes profundidades y períodos de tiempo para su consolidación, basándose en el resultado del análisis de consolidación para que pueda formularse la frecuencia de agitación apropiada durante la operación del dragado. Similarmente en base al resultado del análisis de consolidación, se deberá investigar el método más apropiado de dragado, ya sea por el método de agitación, eliminación, o una combinación de ambos.
- 18) **[Institución para el Dragado de Mantenimiento]:** Para incrementar la eficiencia de las obras del dragado, se recomienda el establecimiento en unos cuantos años de una misión especial para la discusión de las reformas institucionales necesarias. Se recomienda la consideración del esquema



para llevar a cabo las obras de dragado por empresas privadas bajo la planificación, dirección y supervisión de INC para continuar con la política gubernamental de descentralización. Bajo este sistema, el INC sería el cuerpo planificador y regulador, delegando el papel ejecutor a terceras personas en la forma de “terciación” (outsourcing).

### Evaluación Económica

- 19) **[Medidas Estructurales]:** El análisis económico se realizó para la comparación de costos entre los dragados periódicos y las medidas estructurales para el mejoramiento del canal, y se observa sólo como una posible alternativa de las medidas estructurales en la sección de Guarguapo - Barrancas - Ya Ya. Tanto el Proyecto del Dique de Cierre Completo como los Proyectos de Diques Sumergidos indican que el beneficio que surge del costo de la inversión no muestra viabilidad desde el punto de vista de la economía nacional. Es innecesario agregar que la viabilidad financiera de ambos proyectos sea difícil. Por lo tanto, la implementación de estos proyectos deberá ser suspendida.

#### Resultados de la Evaluación Económica para el Mejoramiento del Canal

	Dique de Cierre Completo	Dique de Cierre Sumergido
B/C	0.95	0.74
TIRE	-	-
Factibilidad Económica	No Factible(×)	No Factible(×)

- 20) **[Medidas para el Mejoramiento del Dragado]:** Tanto el Proyecto del GPS Adicional como el Proyecto del Suministro de Gabarras para la eliminación del desecho de dragado claramente indican viabilidad desde el punto de vista de la economía nacional. El impacto positivo al mejorar la eficacia del dragado, el cual actualmente es alrededor de 25% en el Canal Boca Grande, puede anticiparse además de otros beneficios como en la reducción de los costos de carga por la navegabilidad de buques grandes, reducción del tiempo requerido para el dragado, etc. La introducción de un sistema de gabarras de desecho en particular, producirá una mejora significativa en la eficiencia y este resultado contribuirá a mejorar el equilibrio financiero del INC.

#### Resultados de la Evaluación Económica para el Mejoramiento de Dragado

	Instalaciones Adicionales para el Sistema Actual GPS	GPS + Suministro de Gabarras para el Desecho
B/C	43.76	4.36
TIRE	493 %	53 %
Factibilidad Económica	Factible(O)	Factible(O)

## Conclusiones

Los resultados del estudio en el mejoramiento comprensivo del río, para implementar un dragado de mantenimiento efectivo para la navegación fluvial de buques enfrentándose a las demandas del transporte de carga en el futuro a lo largo del Río Orinoco son las siguientes:

21) **[Ruta de Navegación y Tamaño Máximo de Embarcación]:** Se recomienda el caño Río Grande como la ruta de navegación más conveniente entre las demás rutas alternativas. El canal deberá mantenerse para adecuar las embarcaciones de tipo Panamax (65,000 DWT) en términos de profundidad y anchura, de acuerdo a los requisitos actuales y futuros.

22) **[Medidas Estructurales]:** Es técnicamente factible minimizar el requisito periódico de dragado en el caño Río Grande con el suministro de medidas estructurales como los diques de cierre, como se evaluó en el análisis de simulación hidráulica bidimensional. Sin embargo, estas medidas estructurales se han evaluado como económica y financieramente no factibles debido a los altos costos de construcción y mantenimiento. Además, como resultado del cierre del canal, los efectos potencialmente adversos en el ambiente social y ecosistema debido al estancamiento del cuerpo de agua, la deposición del sedimento aguas arriba y aguas abajo del dique, las perturbaciones en el transporte fluvial y en las actividades pesquera de los residentes locales también se han evaluado como significantes. Asimismo, fenómenos imprevistos desde el punto de vista a largo plazo como serían los cambios en el curso del río y las variaciones morfológicas debido a las medidas de mejoramiento de gran escala no podrían ser analizadas con herramientas actualmente disponibles como el análisis hidráulico, por lo que continúa siendo un problema irresuelto (riesgos). Por lo tanto, es arriesgado proponer cualquier medida estructural que no tenga un beneficio considerablemente más alto que el costo. Consecuentemente, en general, las medidas estructurales para profundizar el canal de navegación en el Río Grande no se justifican como factibles.

**[Simulación Numérica para el Análisis Hidráulico]:** A través de dos pasos aplicando los análisis de simulación hidráulica unidimensional y bidimensional, se lleva a cabo el estudio para el mejoramiento del río, tomando en cuenta la inmensa magnitud del área objetiva y la complicada red fluvial. El primer análisis se aplica para reproducir el perfil del lecho del canal en toda el área objetiva y con las características de los cambios en el cauce, se identifican los puntos claves que tienen como objetivo el mejoramiento del río. De acuerdo a esto, se discuten las alternativas prácticas para el mejoramiento del canal desde el punto de vista macro. Para el segundo paso, el análisis bidimensional que considera los fenómenos de flujo secundarios, se realiza para evaluar los efectos hidráulicos tales como la erosión de los bancos laterales y los cambios en lo más profundo del lecho del cauce en las secciones de serpenteo complicadas, así como los efectos de disminución

del lecho del canal de navegación por medio de las medidas estructurales en las secciones seleccionadas del río. Este método de dos pasos de las aplicaciones del modelo numérico unidimensional y bidimensional puede ser utilizado en el futuro como referencia para otros estudios del mejoramiento de ríos similares, que incluyan redes de canales complicados de confluencias y bifurcaciones.

23) **[Medidas para el Mejoramiento del Dragado]:** El mantenimiento periódico del dragado en el canal se evalúa como el único medio factible que reúne el requisito de navegación desde el punto de vista global en los aspectos técnicos, económicos, financieros y medioambientales. Para llevar a cabo una implementación eficaz de dragado, de acuerdo a los resultados del análisis de las actividades actuales de dragado dentro del alcance de trabajo de este estudio, se evaluaron los siguientes mejoramientos en el dragado como factibles desde los puntos de vista técnicos y económicos:

- Adquisición de un sistema RTK/GPS con un sistema de registro de la ubicación precisa y un sistema posicionador del cabezal de dragado para localizar con precisión las crestas y valles en el lecho del canal de navegación.
- Minimizar el retorno de materiales desechados con la introducción de un sistema de gabarras.
- Reducción del tiempo que las dragas se encuentran sin funcionamiento, por medio de un sistema de empleo apropiado, un sistema de manejo de repuestos, trabajos metódicos de mantenimiento, etc.

### **Recomendaciones**

Para poder continuar con el dragado de mantenimiento en el futuro y para garantizar que el canal de navegación del Orinoco sea seguro, efectivo y confiable, el MARN-PROA deberán promover el que se lleven a cabo las siguientes recomendaciones en coordinación con los organismos pertinentes.

24) **[Estudio Integral de Dragado]:** Implementar un estudio integral para el mejoramiento en gran escala de la eficiencia del dragado, consistiendo en lo siguiente:

- Revisión de la estructura institucional para el dragado de mantenimiento (Medidas Administrativas),
- Sistema de dragado que incluya los métodos y técnicas de dragado, tipos de dragado, etc. (Medidas Técnicas).

25) **[Análisis de las Características del “Fluff”]:** Efectuar un estudio integral que examine sus propiedades físicas para determinar el método más apropiado para la operación de dragado en el